

УДК 597.2/.5

**МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ЕРША
(*GYMNOCEPHALUS CERNUUS* (L)) РАЙОНА ОСТРОВА РААНТАСААРИ
ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА МЕТОДАМИ ВАРИАЦИОННОЙ СТАТИСТИКИ**

© 2014 г.

И.М. Дзюбук, Е.А. Клюкина

Петрозаводский госуниверситет

ikrup@petrsu.ru

Поступила в редакцию 15.04.2013

Приведен морфофизиологический анализ локальной популяции ерша (*Gymnocephalus cernuus* (L)) района острова Раантасаари Ладожского озера с использованием методов математической статистики для малых выборок. Для молоди ерша Ладоги получены регрессионные зависимости индексов некоторых внутренних органов от массы тела. По индексам внутренних органов гендерных различий не обнаружено.

Ключевые слова: Ладожское озеро, ерш, морфофизиологический анализ, локальная популяция, малая выборка, регрессионный анализ.

Введение

Исследование ерша (*Gymnocephalus cernuus* (L)) представляет определенный научный интерес, так как ерш – чувствительный к изменениям условий обитания вид, поэтому он является одним из биоиндикаторов водной среды. Ерш не относится к числу ценных промысловых видов, но он может составлять значительную часть улова. Также ерш может оказывать большое влияние на рыбопродуктивность водоемов и, соответственно, на функционирование водной экосистемы в целом. Имея высокую плодовитость (до 100 тыс. икринок), он может достигать большой численности при благоприятных условиях. В этом случае ерш составляет конкуренцию в питании лещу, сигу, палии и становится активным потребителем икры ряпушки, леща, плотвы во время их размножения [1–3].

Исследование популяций ерша из различных водоемов методом морфофизиологических индикаторов позволяет оценивать и прогнозировать состояние популяций вида в меняющихся условиях среды. Каждый из изучаемых морфофизиологических показателей вносит свой вклад в общее представление о биологическом своеобразии популяций ерша из различных водоемов. Известно, например, что значения относительной массы сердца видоспецифические и считаются контролем, от которого должен вестись отсчет характера изменений в популяции в зависимости от изменения среды. Массы желудка и кишечника используют в качестве характеристики обмена веществ в организме рыб. Большое влияние на

развитие этих внутренних органов оказывают тип питания и кормовые условия. Масса селезенки варьирует в больших пределах и зависит от активности рыб и кислородных условий обитания [4].

Ранее были получены результаты по морфофизиологическим показателям (массе, длине тела и индексам внутренних органов) ерша из различных районов Онежского озера (Лахтинская и Кондопожская губы, Кузаранда) [5, 6]. Статистический анализ данных показал, что ерш (2+...5+) в условиях Лахтинской губы Онежского озера отличается наибольшими размерами, а также высокими показателями индексов сердца и пищеварительного тракта, широким диапазоном колебаний индекса селезенки и печени по сравнению с этими показателями у ерша из других районов озера. У ерша Лахтинской губы с 95% достоверностью был доказан половой диморфизм по индексам желудка, кишечника и жабр. По массе, длине тела, индексам сердца, печени и селезенки существенных различий между самками и самцами на уровне значимости 5% не обнаружено (при нормальном характере распределения данных). С помощью метода главных компонент для ерша (2+...5+) Лахтинской губы были установлены следующие закономерности: уменьшение индексов сердца, селезенки, желудка и кишечника при увеличении массы и размеров ерша; увеличение индексов печени, жабр, желудка и кишечника при увеличении размеров тела; уменьшение индекса селезенки и индекса сердца при увеличении индекса кишечника, которые не зависят от пола рыбы.

Цель работы – проведение морфофизиологического анализа локальной популяции ерша Ладожского озера (район острова Раантасаари) с использованием методов математической статистики для малых выборок.

Задачи исследования:

1. Установление зависимостей индексов внутренних органов ерша (сердца, жабр, селезенки, печени, желудка, кишечника) от массы тела.

2. Оценка статистической значимости различий самок и самцов ерша по индексам внутренних органов.

Материалы и методы

Сбор ихтиологического материала проводился в феврале 2004 года на Ладожском озере, в районе острова Раантасаари, при помощи ставных сетей. Объем собранного материала составил 10 экземпляров (6 самок и 4 самца) возраста 1+...5+.

Обработка ихтиологического материала осуществлялась по общепринятым методикам [4, 7]. В качестве морфофизиологических индикаторов состояния водной среды и организма рыб использовали массу, длину тела и индексы органов (сердца, жабр, селезенки, печени, желудка и кишечника) ерша. Статистическая обработка проводилась с применением методов вариационной статистики для малых выборок [8, 9]. При математико-статистической обработке результатов исследования применялись методы описательной статистики, критерий исключения промахов (резко отклоняющихся вариантов) Шовене, метод непрямых разностей (метод сравнения двух независимых выборок) для оценки достоверности различий между средними арифметическими [10] и регрессионный анализ. Все математические операции, графические построения и статистическая обработка данных проведены с использованием стандартного программного пакета *Excel* и компьютерной программы *StatGraphics Centurion XV*.

Результаты и их обсуждение

Максимальный возраст ерша в пределах ареала – 15 лет [1]. Ерш Ладожского озера имеет короткий жизненный цикл. В промысловых уловах встречаются особи 2–9 лет, но особи 7–9 лет – малочисленны [11]. В наших исследованиях на Ладожском озере (район острова Раантасаари) ерш был представлен возрастными группами от 1+ до 5+ лет. Основу составляли рыбы возраста 2+ (36.4%). Особи старше 5+ отсутствовали.

Размеры ерша из района острова Раантасаари Ладожского озера были в пределах 9.9–17.2 см

и 10.2–60.6 г. Известно, что в большинстве карельских водоемов обитает мелкий ерш (масса ерша менее 15 г), но в некоторых водоемах его масса может быть 50 г и более. В Ладожском озере ерш имеет большие размеры, по сравнению с ершом Онежского озера [5, 6, 11].

Из 10 исследуемых особей (ерш возраста 1+...5+) 6 самок (значение 1) и 4 самца (значение 0). То есть выборка состоит из 6 единиц и 4 нулей. Доля вариантов со значением 1 (доля самок) составляет $p = 0.6$ (то есть 60%), а доля самцов – $q = 0.4$ (то есть 40%). Наиболее точные границы доверительного интервала для альтернативного признака дает ϕ -преобразование Фишера [9]. Границы доли самок ерша при уровне значимости $\alpha = 0.05$ составят: $p_{\text{лев.}}(1.119) = 28.2\%$ и $p_{\text{прав.}}(2.425) = 87.7\%$. То есть доля самок в генеральной совокупности составляет минимум 28.2%, а максимум – 87.7%.

В собранном материале была только одна особь старше 3+ (самка возраста 5+), а все остальные – возраста 1+...3+. Следовательно сравнение средних по массе, размерам тела и индексам внутренних органов, а также регрессионный анализ далее проводились для группы ершей возраста 1+...3+ (молодь).

При вычислении средних арифметических по массе, размерам, индексам внутренних органов самок и самцов ерша, а также их ошибок для оценки резко отклоняющихся вариантов (промахов) был применен критерий Шовене [8]. Согласно этому критерию, варианта считается промахом, если вычисленная величина $u = (x_{\text{max}} - M) / \sigma$ не меньше табличной величины $u_r = 1.92$ ($n = 9$), где x_{max} – максимальное значение в выборке, M – среднее арифметическое, σ – среднее квадратическое отклонение. Результат расчетов коэффициента u представлены в табл. 1. Для выборок по индексам жабр, пустого желудка и кишечника (пустого и полного) величина $u > u_r$, причем во всех случаях промахом оказалась одна и та же особь (самка возраста 1+). Индексы жабр, желудка (пустого) и кишечника (пустого и полного) для данной особи соответственно равны $54.9^{0/00}$, $19.8^{0/00}$, $52.7^{0/00}$, $27.5^{0/00}$, каждый из которых превышает правую границу $(M + \sigma \cdot u_r)$ соответствующих интервалов (табл. 1). Можно предположить наличие патологий у данной особи. Остальные варианты в каждой выборке, исключая найденные промахи, укладываются в указанные интервалы $[M - \sigma \cdot u_r; M + \sigma \cdot u_r]$ (а именно: не превышают правую границу), следовательно, других промахов данные выборки не содержат. Исключив из рассмотрения данную самку (1+), анализ результатов проводился для 8 особей, из которых 4 самки и 4 самца.

Таблица 1

Оценка промахов (резко отклоняющихся вариант) по методу Шовене

Данные	Масса тела	Длина тела	Индексы внутренних органов							
			сердца	жабр	селезенки	печени	желудка		кишечника	
							полного	пустого	полного	пустого
u	1.661	1.671	1.63	2.254	1.728	1.788	1.37	2.01	2.45	2.25
$M+\sigma \cdot u_r$	32.2	14.7	11	51.3	7.3	54.3	31.92	19.37	46.25	25.30

Таблица 2

Значимость критерия Стьюдента (P) коэффициентов регрессии a и b

Регрессионная модель	Значение P для a	Значение P для b
$Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$	0.0052	0.0416
$Y = 23.1179 - 0.565417 \cdot X$	0.0033	0.0132
$Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$	0.0050	0.0093

Таблица 3

Дисперсионный анализ оценки адекватности регрессионной модели $Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$

Источники изменчивости	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсии	Критерий влияния	Значимость различия дисперсий
Факториальная дисперсия	40.2774	1	40.2774	6.67	0.0416
Случайная дисперсия	36.2313	6	6.03856	—	—
Общая дисперсия	76.5088	7	—	—	—

Для выборки без промахов, состоящей из 8 особей (4 самки и 4 самца) возраста 1+...3+, а также для самок и самцов из данной выборки были рассмотрены задачи нахождения зависимостей между двумя признаками с помощью регрессионного анализа. В качестве зависимых признаков выступали индексы внутренних органов (сердца, печени, жабр, селезенки, пустого и полного желудка, пустого и полного кишечника), в качестве независимой переменной – масса тела. Процедуру поиска линейной регрессионной модели ($Y = a + b \cdot X$) проводили в среде StatGraphics. Оценка адекватности модели исходным данным дала положительный результат для зависимостей индекса сердца ерша от массы тела, а также для зависимостей индекса пустого кишечника самцов от массы тела и индекса селезенки самок от массы тела. В тех случаях, когда оценки значимости параметров линейного регрессионного уравнения оказывались больше 0.05, то есть использование уравнения линейной регрессии оказывалось неэффективным, данную проблему пытались разрешить с помощью уравнений кривых линий, учитывая оценку качества разных видов моделей в среде StatGraphics [12]. Однако в таких случаях оценки значимости коэффициентов криволинейной регрессии не дали положительных результатов,

а коэффициент детерминации (R^2) наилучшей криволинейной модели в большинстве случаев был существенно ниже 50%.

Приведем подробнее результаты регрессионного анализа для указанных выше признаков.

Полученная регрессионная модель зависимости индекса сердца ерша (I_h) от его массы тела (M_t) имеет вид $Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$, она вполне удовлетворительно описывает уменьшение индекса сердца ерша при увеличении массы тела (при уровне доверительной вероятности 95%). Значения P (значимости различий) коэффициентов регрессии a и b меньше 0.05 (табл. 2), что свидетельствует о том, что они достоверно отличаются от нуля. В таблице дисперсионного анализа (табл. 3) представлена общая адекватность линейной регрессии исходным данным.

Значение $p < 0.05$, что свидетельствует о достоверности отличий между факториальной и случайной дисперсиями, а значит, об адекватности модели исходным данным.

Коэффициент детерминации показывает, что данная модель объясняет 52.6% (больше 50%) изменчивости в индексе сердца ерша. Корреляционный коэффициент r равен -0.73 , что указывает на умеренно сильную зависимость между переменными. Стандартная ошибка оценки равна 2.46. Анализ необычных остатков не вы-

Таблица 4

Дисперсионный анализ оценки адекватности регрессионной модели $Y = 23.1179 - 0.565417 \cdot X$

Источники изменчивости	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсии	F-показатель (критерий влияния)	Значение P (значимость различия дисперсий)
Факториальная дисперсия	73.1593	1	73.1593	74.34	0.0132
Случайная дисперсия	1.96821	2	0.984105	–	–
Общая дисперсия	75.1275	3	–	–	–

явил наблюдений, подозрительных на выброс. Отметим, что наилучшей для описания данной зависимости по оценке качества моделей регрессии является модель вида $Y = a + b/X$, однако для нее $R^2 = 56.5\%$, что несущественно влияет на повышение адекватности выбранной модели, для которой к тому же выявлено наблюдение, подозрительное на выброс.

Полученная регрессионная модель зависимости индекса пустого кишечника самцов (Ib) от массы тела (Mt) имеет вид $Y = 23.1179 - 0.565417 \cdot X$, она вполне удовлетворительно описывает уменьшение индекса пустого кишечника самцов при увеличении массы тела (при уровне доверительной вероятности 95%). Значения P (значимости различий) коэффициентов регрессии a и b меньше 0.05 (табл. 2), то есть оба достоверно отличаются от нуля. В таблице дисперсионного анализа (табл. 4) представлена общая адекватность линейной регрессии исходным данным.

Значение $p < 0.05$, что свидетельствует о достоверности отличий между факториальной и случайной дисперсиями, а значит – об адекватности модели исходным данным.

Данная модель объясняет 97.4% (R^2) изменчивости в индексе пустого кишечника самцов; $r = -0.99$, что указывает на относительно сильную зависимость между переменными. Стандартная ошибка оценки равна 0.99. Однако анализ необычных остатков (*Unusual Residuals*) для данной линейной модели показал, что для двух наблюдений вычисленные остатки по абсолютной величине больше 3, а значит, эти наблюдения могут оказаться выбросами для этой модели. В данном случае лучшее описание связи между рассматриваемыми признаками дает уравнение криволинейной регрессии, а именно экспоненциальная модель $Y = e^{(3.41316 - 0.0509119X)}$, для которой коэффициенты регрессии значимы ($p < 0.05$), $R^2 = 99.7\%$, а коэффициент корреляции r между переменными, трансформированными в соответствии с требованиями к данной модели, равен -1 . Вывод остался прежним: индекс пустого кишечника самцов уменьшается при увеличении массы тела. Анализ не-

обычных остатков не выявил наблюдений, подозрительных на выброс. Поскольку значимость различия дисперсий $p = 0.017 < 0.95$, то связь между индексом пустого кишечника самцов (Ib) и массой тела (Mt) статистически значима с вероятностью 95%.

Полученная регрессионная модель зависимости индекса селезенки самок (Is) от массы тела (Mt) имеет вид $Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$, она вполне удовлетворительно описывает уменьшение индекса селезенки самок при увеличении массы тела (при уровне доверительной вероятности 95%). Значения P коэффициентов регрессии a и b меньше 0.05 (табл. 2), что свидетельствует о достоверности их отличия от нуля. В таблице дисперсионного анализа (табл. 5) оценивается общая адекватность линейной регрессии исходным данным.

Значение $p < 0.05$, что свидетельствует о достоверности отличий между факториальной и случайной дисперсиями, а значит – об адекватности модели исходным данным.

Данная модель объясняет 98.2% (R^2) изменчивости в индексе селезенки самок; $r = -0.99$, что указывает на относительно сильную зависимость между переменными. Стандартная ошибка оценки равна 0.25. Анализ необычных остатков для данной линейной модели показал, что для одного наблюдения вычисленный остаток по абсолютной величине больше 3, а значит, это наблюдение подозрительно на выброс для этой модели. В данном случае наилучшее описание связи между рассматриваемыми признаками дает уравнение криволинейной регрессии, а именно, модель $Y = (-13.1287 + 331.589/X)^{1/2}$, для которой $R^2 = 99.6\%$, а коэффициент корреляции r между переменными, трансформированными в соответствии с требованиями к данной модели, равен 1. Вывод остался прежним: индекс селезенки самок уменьшается при увеличении массы тела. Подозрительной на выброс оказалась одна и та же самка (1+), масса тела которой равна 10.5 г, а индекс селезенки равен 4.30/00. Исключение из регрессионного анализа данного наблюдения не дало адекватную модель (в таблице дисперсионного анализа

Таблица 5

Дисперсионный анализ оценки адекватности регрессионной модели $Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$

Факториальная дисперсия	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсии	F-показатель (критерий влияния)	Значение P (значимость различия дисперсий)
Случайная дисперсия	6.78009	1	6.78009	106.43	0.0093
Общая дисперсия	0.127408	2	0.0637042	—	—
Факториальная дисперсия	6.9075	3	—	—	—

$P = 0.3203 > 0.05$, а также коэффициенты регрессии оказались незначимы) даже для наилучшей (в данном случае $R^2 = 76.8\%$) предложенной криволинейной модели $Y = (a + b/X)^{1/2}$.

Графическое отображение результатов регрессионного анализа представлено на рис. 1–4, на которых кроме точек вариант и линии регрессии показаны доверительный интервал, характеризующий область ожидания генеральной линии регрессии, и интервал прогноза – область, в которой возможно появление новых значений переменной Y , если продолжать наблюдения.

Относительная масса сердца ерша Ладожского озера (район острова Раантасаари) изменяется в большом диапазоне 1.8–4.1%. Получена регрессионная модель зависимости индекса сердца ерша Ладожского озера (район острова Раантасаари) от его массы тела ($Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$). Она вполне удовлетворительно описывает уменьшение индекса сердца ерша при увеличении массы тела (при уровне доверительной вероятности 95%). Уменьшение индекса сердца с возрастом наблюдается у многих видов рыб, но у одних – резко, у других слабее. Например, была выявлена тенденция к уменьшению индекса сердца ерша с возрастом (3+ и 5+, 5+ и 7+) [4].

Выявленные нами изменения в индексе сердца молоди ладожского ерша отражают определенные изменения в физиологии рыб этого возраста. Относительная масса сердца определяется интенсивностью обмена веществ, связанного со скоростью движения. На относительных размерах сердца сказывается скорость роста. Молодь рыб растет интенсивно, потребляет много корма на единицу своей массы, поэтому энергетические траты у нее велики [4]. Ерш Ладожского озера созревает рано: в возрасте двух лет (1+) – самцы, трех лет (2+) – самки. Можно предположить, что интенсивность обмена, скорость роста, а соответственно, и индекс сердца у молоди ерша Ладожского озера высокие до полового созревания (1+) и уменьшаются с увеличением массы тела, к моменту полового созревания (2+...3+).

Индекс кишечника (пустого) ерша Ладожского озера (район острова Раантасаари) был в

пределах 7.1–18.1%, что значительно больше по сравнению с таковым у ерша Онежского озера [5]. Получена регрессионная модель зависимости индекса кишечника (пустого) самцов от массы тела ($Y = 23.1179 - 0.565417 \cdot X$). Она вполне удовлетворительно описывает уменьшение индекса кишечника самцов при увеличении массы тела (уровень доверительной вероятности 95%). Однако лучшее описание связи между рассматриваемыми признаками дает экспоненциальная модель $Y = e^{(3.41316 - 0.0509119X)}$. Выявлено уменьшение индекса кишечника у самцов в период 1+...3+. В ходе онтогенеза изменяются кормовые предпочтения ерша и, соответственно, нагрузка на его пищеварительный тракт. Молодь (1+) интенсивно растет, потребляет много корма на единицу своей массы. С возрастом темп роста рыб замедляется, соответственно уменьшаются и объем корма на единицу массы, и относительная масса кишечника. Также в период полового созревания самцов (2+) темп роста замедляется, и большая часть энергии идет на созревание половых продуктов.

Относительная масса селезенки ерша Ладожского озера (район острова Раантасаари) была в пределах 0.7–5.6%. Этот показатель зависит от типа водоема. Можно предположить, что в районе острова Раантасаари Ладожского озера широкие кормовые возможности и(или) неблагоприятные кислородные условия обуславливают интенсивную работу селезенки ерша.

На многих видах рыб из карельских озер было доказано закономерное уменьшение индекса селезенки с возрастом. При этом у самцов этот показатель был больше, чем у самок. Однако у ерша не был выявлен половой диморфизм по этому показателю. У самок ерша была отмечена высокая индивидуальная изменчивость индекса этого органа (коэффициент вариации составил 3.4%) [4].

Нами получена регрессионная модель зависимости индекса селезенки самок ерша от массы тела ($Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$). Она описывает уменьшение индекса селезенки самок при увеличении массы тела (уровень доверительной вероятности 95%). Интенсивность работы селезенки у самок ерша уменьшается с увеличе-

нием массы, а значит, и с возрастом (1+...3+). Можно предположить, что активность самок к

Для оценки статистической значимости различий между самками и самцами по индексам

Таблица 6
Анализ различий между самками и самцами ерша по методу непрямых разностей
(сравнение двух независимых выборок)

Данные	Индексы внутренних органов							
	сердца	жабр	селезенки	печени	желудка		кишечника	
					полного	пустого	полного	пустого
M ₁	5.29	27.2	2.01	30.59	13.3	7.76	17.71	9.51
M ₂	4.68	27.17	3.65	28.53	21.59	11.76	20.5	12.36
m ₁	1.47	2.05	0.76	3.27	2.67	1.18	1.62	0.69
m ₂	2.04	4.31	1.27	6.12	3.22	1.25	3.36	2.51
t	0.24	0.01	1.11	0.3	1.98	2.33	0.75	1.1

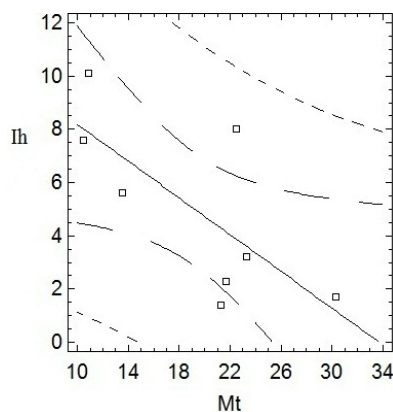


Рис. 1. График подобранной модели
 $Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$

Ih – индекс сердца ерша, Mt – масса тела ерша, квадратики – точки вариант, сплошная черная линия – линия регрессии, две черные линии с длинным штрихпунктиром – доверительный интервал, две черные линии с коротким штрихпунктиром – интервал прогноза

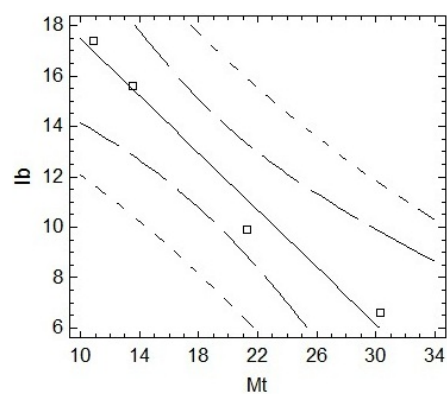


Рис. 2. График подобранной модели
 $Y = 23.1179 - 0.565417 \cdot X$

Ib – индекс пустого кишечника самцов, Mt – масса тела самца, квадратики – точки вариант, сплошная черная линия – линия регрессии, две черные линии с длинным штрихпунктиром – доверительный интервал, две черные линии с коротким штрихпунктиром – интервал прогноза

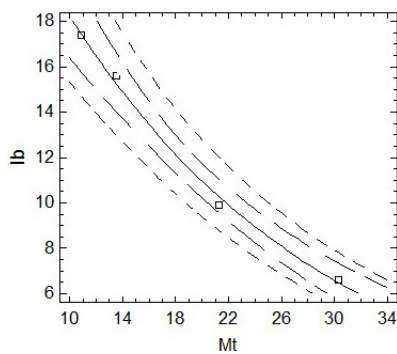


Рис. 3. График подобранной модели $Y = e^{(3.41316 - 0.0509119X)}$
Ib – индекс пустого кишечника самцов, Mt – масса тела самцов, квадратики – точки вариант, сплошная черная линия – линия регрессии, две черные линии с длинным штрихпунктиром – доверительный интервал, две черные линии с коротким штрихпунктиром – интервал прогноза

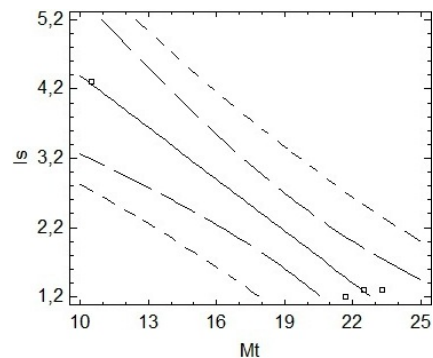


Рис. 4. График подобранных моделей
 $Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$

Is – индекс селезенки самок, Mt – масса тела самок, квадратики – точки вариант, сплошная черная линия – линия регрессии, две черные линии с длинным штрихпунктиром – доверительный интервал, две черные линии с коротким штрихпунктиром – интервал прогноза

периоду полового созревания (3+) снижается.

внутренних органов был применен метод не-

прямых разностей. Результаты анализа представлены в табл. 6.

Суть метода для случая равновеликих вариационных рядов малых выборок (объем выборки должен быть меньше 20)

заключается в следующем: если коэффициент Стьюдента $t = \frac{M_{11} - M_{21}}{\sqrt{(m_1^2 + m_2^2)/2}} > 3$, где M_j , m_j – среднее арифметическое и его ошибка соответственно для j -ого вариационного ряда, то расхождение между средними можно считать доказанным.

По индексам органов ерша величина $t < 3$, в таком случае необходимо обращаться к таблице Стьюдента. По найденному значению коэффициента t и числу степеней свободы $f = n_1 + n_2 - 2$, где $n_1 = 4$ и $n_2 = 4$ – объемы первого и второго вариационного ряда соответственно, находим соответствующее значение вероятности p . Так как все значения p оказались меньше 0.95, то различия между средними арифметическими этих выборок можно считать несущественными. Однако для индексов полного и пустого желудка $0.9 < p < 0.95$. Следовательно, разность между средними может иметь место, но в данном исследовании она не доказана.

Анализ различий между самками и самцами по методу непрямых разностей не подтвердил половой диморфизм у ерша по индексам внутренних органов. Это может быть связано с тем, что анализировалась только молодь, особи возраста 1+...3+. Но вероятность $0.9 < p < 0.95$ для индекса желудка (полного и пустого) свидетельствует о возможных различиях самок и самцов по этим параметрам.

Выводы

С помощью методов математической статистики для выборок малого объема на основе морфофизиологических показателей был проведен анализ локальной популяции ерша района острова Раантасаари Ладожского озера. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Установлены следующие регрессионные зависимости: индекса сердца ерша от массы тела (линейная модель $Y = 11.6265 - 0.344885 \cdot X$), индекса кишечника (пустого) самцов от массы тела

(экспоненциальная модель $Y = e^{(3.41316 - 0.0509119X)}$), индекса селезенки самок от массы тела (линейная

модель $Y = 6.88216 - 0.249085 \cdot X$).

2. Для молоди ерша (1+...3+) Ладожского озера (район острова Раантасаари) выявлены следующие закономерности (при уровне доверительной вероятности 95%): уменьшение индекса сердца ерша при увеличении массы тела, уменьшение индекса кишечника (пустого) самцов при увеличении массы тела, уменьшение индекса селезенки самок при увеличении массы тела.

3. Отсутствует половой диморфизм у молоди ерша (1+...3+) Ладожского озера (район острова Раантасаари) с 95% достоверностью по всем индексам внутренних органов, за исключением желудка (полного и пустого), для которого вероятность $0.9 < p < 0.95$, что свидетельствует о возможных половых различиях.

Полученные регрессионные зависимости важны при оценке и прогнозировании состояния популяции ерша в изменяющихся условиях водной среды Ладожского озера и продукционных возможностей этого вида, способного оказывать значительное влияние на другие виды рыб.

Список литературы

1. Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. М.: Наука, 2002. С. 62–64.
2. Кияшко В.И. Особенности роста ерша в Рыбинском водохранилище // Биол. внутренних вод. Информационный бюллетень. Л.: Наука, 1980. № 46. С. 31–34.
3. Кудерский Л.А. Локальные стада ерша в Сямозере // Тр. Карельского отд. ГосНИОРХ. Петрозаводск, 1966. Т. IV. Вып. 1. С. 183–186.
4. Смирнов В.С., Божко А.М., Рыжков Л.П., Добринская Л.А. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб // Тр. СевНИОРХа. Петрозаводск: Карелия, 1972. Т. 7. 190 с.
5. Клюкина Е.А., Дзюбук И.М. Математико-статистический анализ данных по результатам морфофизиологического исследования ерша Лахтинской губы Онежского озера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Естественные и технические науки. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. № 6 (111). С. 65–76.
6. Крупень И.М. Морфофизиологические особенности ерша *Gymnocephalus cernuus* L. из различных

условий обитания. Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1999. 190 с.

7. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

8. Кокунин В.А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов // Укр. биохим. журн. 1975. Т. 47. № 6. С. 776–790.

9. Коросов А.В. Специальные методы биометрии: Учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 364 с.

10. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 142 с.

11. Дятлов М.А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. С. 225–233.

12. Коросов А.В., Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных: Метод. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 84 с.

References

1. Atlas presnovodnyh ryb Rossii. T. 2. M.: Nauka, 2002. S. 62–64.

2. Kiyashko V.I. Osobennosti rosta ersha v Rybinskom vodohranilishche // Biol. vnutrennih vod. Informacionnyy byulleten'. L.: Nauka, 1980. № 46. S. 31–34.

3. Kuderskiy L.A. Lokal'nye stada ersha v Syamozere // Tr. Karel'skogo otd. GosNIORH. Petrozavodsk, 1966. T. IV. Vyp. 1. S. 183–186.

4. Cmironov V.S., Bozhko A.M., Ryzhkov L.P., Dobrinskaya L.A. Primenenie metoda morfofiziologicheskikh indikatorov v ehkologii ryb // Tr. SevNIORHa. Petrozavodsk: Kareliya, 1972. T. 7. 190 s.

5. Klyukina E.A., Dzyubuk I.M. Matematiko-statisticheskij analiz dannyh po rezul'tatam morfofiziologicheskogo issledovaniya ersha Lahtinskoj guby Onezhskogo ozera // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. Pet-

MORPHOPHYSIOLOGICAL ANALYSIS OF RUFFE (*GYMNOCEPHALUS CERNUUS* (L)) LOCAL POPULATION NEAR THE RAANTASAARI ISLAND IN LAKE LADOGA BY VARIATION STATISTICS METHODS

I.M. Dzyubuk, E.A. Klyukina

A morphophysiological analysis of ruffe (*Gymnocephalus cernuus* (L)) local population near the Raantasaari Island in Lake Ladoga is given using statistical techniques for small samples. Regression dependencies of some internal organ indices on body mass have been obtained which do not show any gender distinctions.

Keywords: Lake Ladoga, ruffe, morphophysiological analysis, local population, small sample, regression analysis.

rozavodsk: PetrGU, 2010. № 6 (111). S. 65–76.

6. Krupen' I.M. Morfofiziologicheskie osobennosti er-sha *Gymnocephalus cernuus* L. iz razlichnyh uslovij obitaniya. Dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 1999. 190 s.

7. Pravdin I.F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb. M.: Pishchevaya promyshlennost', 1966. 376 s.

8. Kokunin V.A. Statisticheskaya obrabotka dannyh pri malom chisle opytov // Ukr. biohim. zhurn. 1975. T. 47. № 6. S. 776–790.

9. Korosov A.V. Special'nye metody biometrii: Uchebnoe posobie. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2007. 364 s.

10. Gubler E.V., Genkin A.A. Primenenie neparametricheskikh kriteriev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyah. L.: Medicina, 1973. 142 s.

11. Dyatlov M.A. Ryby Ladozhskogo ozera. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2002. S. 225–233.

12. Korosov A.V., Gorbach V.V. Komp'yuternaya obrabotka biologicheskikh dannyh: Metod. posobie. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 84 s.